Ferdowsi University of Mashhad

Journal of Applied and Computational Sciences in Mechanics

Page Journal: mechanic-ferdowsi.um.ac.ir

Society of Manufacturing Engineering of Iran

Evaluating the Effect of Movable Internal and Fixed External Shading Devices on the Energy Consumption of an Office Building in Kerman

Research Article

Mohamad Reza Motlaghian[1], S.Mohammad Hojjat.Mohammadi[2], Ebrahim Jahanshahi Javaran[3]

10.22067/jacsm.2024.86057.1233

Abstract

Windows include a significant part of waste in buildings as they are transparent to solar heat and radiation. The use of shading devices is evaluated as a suitable strategy in order to improve the energy performance of the building. In this article, physical specifications of an office building in Kerman are modeled in Sketch Up software. Then, by assigning materials to the building components in Open Studio software, the building is simulated. Finally, the building energy consumption in the presence of fixed external shading devices, internal movable shading devices and simultaneous use of these two shadings, is calculated in Energy Plus software. Results show that the use of external fixed shading devices has better performance in reducing energy consumption compared to internal movable shading devices. In this regard, the external fixed shade with a depth of 150 (cm) has recorded the best result with reduction of 18.92% in annual energy consumption compared to the base state. The simultaneous use of external fixed shading with depth of 100 (cm) and internal movable shade with 63.57 (GJ) saving, shows the most reduction in building annual energy consumption.

Keywords: Building energy consumption, Office Building, Energy plus, internal shading device, External overhang.

1-Introduction

Nowadays, 40% of the total energy consumption and 35% of the total carbon dioxide production in Iran is allocated to the building sector. windows account for a significant part of waste in this sector. The most important factor in this loss is the heat absorbed due to penetration of sunlight through the windows. The use of shading devices and sunlight control methods is a smart choice in order to optimize the use of sunlight in different seasons. This approach can be introduced as an effective solution to reduce waste through windows and translucent walls.

Many studies have been conducted on the effect of shading devices on energy consumption, which evaluated their use as favorable. Among these studies, in the study of Alhuwayil et al. the evaluation of external shading devices on four fronts of a hotel against the use of polyurethane and fiberglass insulation from the viewpoint of energy consumption has been investigated. Iqbal Shah et al. compared the effect of shading devices on opaque façade. Subsequently, a simulation study was conducted to quantify the effects of shading systems on opaque facades with different thermal transmittance values. Park et al. analyzed the energy performance and thermal comfort of an educational building with shadings in South Korea. When PCMs were applied to the shading, the cooling energy consumption decreased by 44%, and the number of thermal comfort hours improved by 34%. In research of shahdan et al. the use of external fixed shade has been introduced as a passive solar strategy. In this study, Revit software was used to model a three-story school in Malaysian climate, vertical, horizontal and egg-crate shading devices have been compared. The simulation clearly shows that the egg-crate shading devices is the best solution for hot-humid climate area.

In this research, the effect of using internal and external shading devices in climate of Kerman, has been studied. Therefore, overhangs in 3 depths and movable shading devices in 3 types have been simulated. The combined use of both types of shadings and its effect on energy consumption has also been investigated. in this study, a comprehensive comparison between different combinations of the external and internal shading devices has been carried out. The results would be conclusive in order to choose the desirable combination of shading

*Manuscript received December 24, 2024. Revised July 30, 2024, Accepted, October 6, 2024.

[1] MSc. Department of Energy, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran.

[2] Corresponding Author: Assistant Professor, Department of Energy, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman.
Email: Iran.smh.mohammadi@kgut.ac.ir

[3] Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

devices for an office building in climatic condition of Kerman.

2- Methodology

In order to evaluate the effect of shading devices on energy consumption, a six story office building is designed. The modeling of this building is based on a real building and considered standards are according to the rules and regulations of the Ministry of Housing and Urban Development of Iran in the design and construction of the building. The main facade of the building faces south and includes 17 windows. It is open five days a week from 7:30 am to 4:00 pm and closed on weekends. Overhangs are created on 17 windows of south facade. Figure (1) illustrates the overhangs on the south facade of the building at three depths of 50, 100 and 150 (cm).

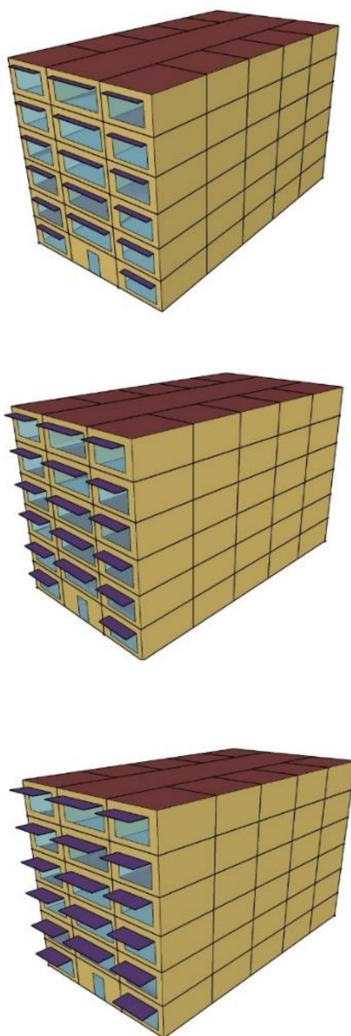


Figure 1 Simulated overhang in three depths.

Kerman meteorological file, the HVAC system and its schedule, the movable shade devices and its schedule are also among the settings made in the Energy Plus software. In this research, three different types of movable shading devices; interior roller shade, blind and exterior screen are used to cover the south facade windows (Figure 2).



Exterior screen Blind Roller shade

Figure2 Selected movable shading devices

Calculations of energy consumption of the office building are in one year and the assumptions considered for the simulation are as follows.

1. The cooling and heating setpoints are considered 26 and 22 degrees Celsius, respectively.
2. The average ground temperature during the year is 18 degrees Celsius.
3. The algorithm of heat transfer calculation is selected based on sensible heat. Therefore, the humidity and the lack of integrity of the surfaces and materials have been ignored.

3- Results and discussion

The obtained results are presented in three sections.

- The results of the effect of external overhangs
- The results of the effect of movable shading devices
- The results of the effect of simultaneous use of overhangs and movable shading devices

Effect of external overhangs

In this section, the effect of external overhangs with three depths of 50 cm, 100 cm and 150 cm are studied. The results of three depths overhang demonstrate a positive effect to reduce the annual energy consumption of the office building. It is obvious that the 150 cm overhang has a better performance than other two, to reduce energy consumption and shows 49.41(GJ) reduction in annual energy consumption.

Effect of internal movable shading devices

Movable shading devices include three types of interior roller shade, blind and exterior screen that cover the window frame. The results show that interior roller shade has the most impact compared to its counterparts and illustrates 34.94(GJ) reduction in annual energy consumption. Although movable shading devices have a favorable effect in reducing energy consumption, they are less effective compared to overhangs.

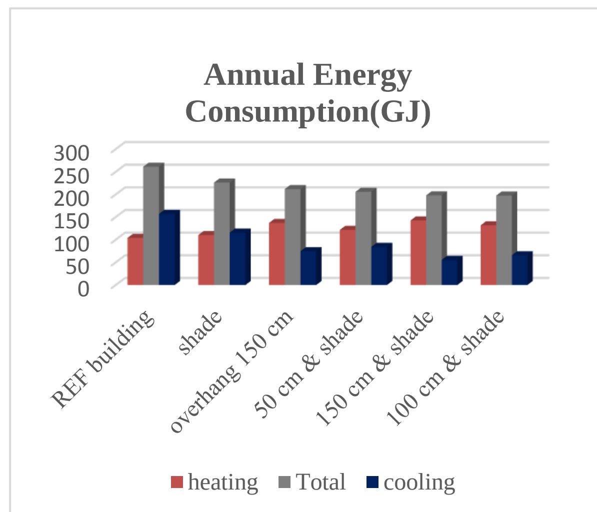


Figure 3 Annual energy consumption of building for heating and cooling in presence of shading devices

The effect of simultaneous use of overhangs and movable shading devices

In order to evaluate the amount of energy saving due to the use of both external and internal shading devices, overhangs and movable shading devices have been simulated simultaneously for the building in 9 different modes. Based on results, the overhang with a depth of 100 cm and interior roller shade shows the greatest reduction in this section with an amount equal to 24.34% compared to the base case. Figure 3 shows the effect of the selected shading devices in each section on the cooling and heating load of the building.

4- Conclusion

In this research, the effect of using movable shading devices and overhangs in a typical office building in Kerman city has been studied, using Energy Plus software. In general, the use of shading devices in hot seasons is effective to reduce the energy consumption for cooling applications, due to restriction of direct sunlight penetration into the building. This amount of reduction is different by considering the conditions of the equipment needed for shading, location and the ability of the equipment used to control the sunlight. overhangs have a better performance, compared to movable shading devices. The highest amount of reduction in energy consumption is shown by the building equipped with interior roller shade & overhang 100 (CM) with a reduction of 24.34% per year.

علوم کاربردی و محاسباتی در مکانیک، ۳۷، ۱، ۱۴۰۴. (۱۰۶-۹۱)




علوم کاربردی و محاسباتی در مکانیک
http://mechanic-ferdowsi.um.ac.ir

ارزیابی تأثیر سایه‌انداز متحرک داخلی و ثابت خارجی بر مصرف انرژی یک ساختمان اداری در اقلیم کرمان*

مقاله پژوهشی

سید محمدرضا موسوی مطلقیان[۱] سید محمدحجت محمدی[۲]  ابراهیم جهانشاهی‌جواران[۳]

10.22067/jacsm.2024.86057.1233

چکیده *پنجره‌ها بخش قابل توجهی از اتلاف انرژی در ساختمان را به دلیل عبور تابش و حرارت خورشید، به خود اختصاص می‌دهند. استفاده از وسایل سایه‌انداز یک استراتژی مناسب در جهت بهبود وضعیت مصرف انرژی در ساختمان‌ها است. در این مقاله مشخصات فیزیکی یک ساختمان اداری در شهر کرمان، در نرم‌افزار اسکچاپ مدل‌سازی شده است. سپس با مشخص کردن مصالح، مدل ساختمان توسط نرم‌افزار اپن‌استودیو تکمیل شده است. در نهایت محاسبات مربوط به میزان مصرف انرژی در شرایط حضور سایه‌اندازهای ثابت خارجی و متحرک داخلی و همچنین به‌کارگیری همزمان آن‌ها، در نرم‌افزار انرژی پلاس انجام شده است. نتایج نشان داد که استفاده از سایه‌اندازهای ثابت خارجی عملکرد به مراتب بهتری در راستای کاهش مصرف انرژی نسبت به سایه‌اندازهای متحرک داخلی دارند. در این راستا سایه‌انداز ثابت خارجی با عمق (cm)۱۵۰ با کاهش ۱۸/۹۲ درصدی در مصرف انرژی سالیانه نسبت به حالت پایه، بهترین نتیجه را به ثبت رسانده است. در بخش استفاده ترکیبی از سایه اندازهای داخلی و خارجی، استفاده همزمان سایه‌انداز ثابت خارجی با عمق (cm)۱۰۰ و سایه‌انداز متحرک داخلی پرده ساده با صرفه‌جویی (GJ) ۶۳/۵۷ در مصرف انرژی سالیانه ساختمان، بیشترین میزان کاهش مصرف انرژی را نشان می‌دهد.*

واژه‌های کلیدی مصرف انرژی ساختمان، ساختمان اداری، انرژی پلاس، سایه‌انداز داخلی، سایه‌انداز خارجی.

مقدمه

امروزه ۴۰ درصد از کل انرژی مصرفی و ۳۵ درصد از کل تولید دی‌اکسیدکربن در کشور به بخش ساختمان اختصاص یافته است [1]. مصرف انرژی پس از رشد صنعت و شهرنشینی شدت یافته است. شهرنشینی با تأثیر بر تولید قادر است تا بر مصرف انرژی، تأثیری روزافزون بگذارد [2]. از طرفی با افزایش نگرانی‌ها در مورد گرمایش جهانی و تغییرات آب و هوایی، توجه بیشتری به تلفات انرژی در ساختمان‌ها معطوف شده است [3]. بر اساس اعلام دفتر مقررات ملی ساختمان وزارت راه و شهرسازی [4]، ۵۰ درصد از مصرف انرژی در بخش ساختمان در ساختمان‌های عمومی و اداری تلف می‌شود که پنجره‌ها بخش قابل توجهی از اتلافات را در این بخش به خود اختصاص می‌دهند. مهم‌ترین عامل در این اتلاف، ورود نور خورشید و حرارت ناشی از آن می‌باشد. استفاده از وسایل سایه‌انداز و روش‌های کنترل نورخورشید به عنوان انتخابی هوشمندانه در راستای بهینه‌سازی و بهره‌گیری به هنگام از نورخورشید در فصول مختلف، می‌تواند به عنوان راهکاری مؤثر در جهت کاهش اتلافات از طریق پنجره‌ها و جدارهای نورگذر معرفی شود. در پژوهشی [5] استفاده از سایه‌بان ثابت خارجی به عنوان یک استراتژی غیرفعال خورشیدی معرفی شده است. در این مطالعه که از نرم‌افزار شبیه‌ساز در جهت مدل‌سازی یک مدرسه سه طبقه در شرایط آب و هوایی مالزی بهره گرفته شده است، به مقایسه سایه‌بان‌های

---

* تاریخ دریافت مقاله ۱۴۰۲/۱۰/۴ و تاریخ پذیرش آن ۱۴۰۳/۷/۱۵ می‌باشد.

(۱) کارشناس ارشد، گروه انرژی‌های تجدیدپذیر و تبدیل انرژی، پژوهشکده انرژی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان.
(۲) نویسنده مسئول، استادیار، گروه انرژی‌های تجدیدپذیر و تبدیل انرژی، پژوهشکده انرژی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان.
Email: smh.mohammadi@kgut.ac.ir
(۳) دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان.

عمودی، افقی و ترکیبی پرداخته شده است. در این پژوهش استفاده از تمام طراحی‌ها نتایج مثبتی در پی داشته است. اقبالشاه و همکاران [6] اثرات پیکربندی‌های مختلف سایه را بر روی یک نمای مات مقایسه کرده‌اند. سپس، یک مطالعه شبیه‌سازی برای تعیین کمیت اثرات سیستم‌های سایه‌انداز بر روی نماهای مات با مقادیر انتقال حرارتی متفاوت انجام داده‌اند. نتایج این مطالعه مزایای متعددی را برای استقرار سیستم‌های سایه‌انداز بر روی نماهای کدر ساختمان نشان داده است که شامل کاهش حرارت رسانایی ساختمان، بارهای خنک‌کننده ساختمان، دمای ریزاقلیم در نزدیکی نما و همچنین کاهش بالقوه انتشار کربن بر روی چرخه زندگی ساختمان است. در مقاله‌ای دیگر، الهواییل و همکاران [7] به بررسی تأثیر استفاده از وسایل سایه‌انداز خارجی بر عملکرد انرژی یک هتل بلند مرتبه در شرایط اقلیمی گرم و مرطوب پرداخته‌اند. ارزیابی استفاده از وسایل سایه‌انداز خارجی در چهار جبهه ساختمان در مقابل استفاده از عایق‌های بهبود یافته پلی‌اورتان و فایبرگلاس از دیدگاه مصرف انرژی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر (Design Builder) مورد بررسی قرار گرفته است.

لی و همکاران [8] یک دستگاه سایه‌انداز خودکار دو فلزی (Bimetal) را بر اساس اثر حرارتی تابش خورشیدی پیشنهاد کرده‌اند که مکانیسم سایه‌زنی را از طریق تغییر زاویه خمش دو فلز گرم شده اجرا می‌کند. بر اساس نتایج محاسبات شبیه‌سازی، افزایش گرمای داخلی را می‌توان حدود ۵۸ درصد در تابستان و ۱/۵۳ درصد در زمستان کاهش داد که کاربرد مؤثر آن در پکن را نشان می‌دهد. در پژوهشی دیگر [9] نقش وسایل سایه‌انداز در جهت بهبود شرایط آسایش دمایی و بصری در ساختمانی با نمای شیشه مورد ارزیابی قرار گرفته است. با توجه به نتایج این پژوهش، استفاده از پرده سایه‌انداز متحرک خارجی نسبت به پرده متحرک داخلی به ویژه در نمای جنوبی بسیار ارجح‌تر ارزیابی شده و استفاده از فیلم‌های کنترلی نور در تمامی جهات مطلوب ارزیابی شده است. کریم‌دوست و معرفت [10] به بررسی پارامتریک عملکرد نورگیرها با هدف بهبود روشنایی در یک ساختمان چهار طبقه با استفاده از روش رادیوسیتی پرداخته‌اند. نتایج تحقیق نشان داد که ضلع نورگیر تأثیر به‌سزایی در میزان نوری که وارد ساختمان می‌شود دارد و نتایج به دست آمده می‌تواند در بهبود طراحی و معماری از حیث میزان دسترسی به نور طبیعی به طبقات ساختمان بسیار مؤثر باشد.

بوراتی [11] به ارزیابی وسایل سایه‌انداز، استفاده از شیشه‌هایی با ضریب عبور کم در نما و جهت‌گیری مناسب ساختمان یک مدرسه برای اقلیم گرم و خشک شیراز پرداخته است. استفاده از وسایل سایه‌انداز خارجی افقی و عمودی بسیار مؤثرتر از دو فاکتور دیگر ارزیابی شده است، به طوری که استفاده از وسایل سایه‌انداز تا ۴۸٪، استفاده از شیشه با ضریب عبور کم در نما تا ۲۹٪ و جهت‌گیری بهینه جغرافیایی ۲۵٪ کاهش در مصرف انرژی سالیانه را نسبت به حالت پایه به ثبت رسانده‌اند. در پژوهش عرب‌سلغار و همکاران [12] به بررسی اثر پدیده کوران بر فاکتورهای آسایش حرارتی بر اساس مدل فنگر در یک ساختمان با دیوار شیشه‌ای پرداخته شده است. در این مقاله رویکرد به‌کارگیری سیستم گرمایش جابه‌جایی اجباری با هدف کاهش اثرات کوران در سه نوع مختلف با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی شبیه‌سازی شده است. نتایج پژوهش حاکی از آن است که استفاده از دمنده‌های ترکیبی در بالا و پایین پنجره دارای تطبیق قابل قبولی با استانداردهای آسایش حرارتی اشره و ایزو ۷۷۳۰ است.

در پژوهش پارک و همکاران [13] به ارزیابی استفاده از سایه‌انداز در حضور مواد تغییر فاز دهنده و بدون حضور آن‌ها پرداخته شده است. از نتایج حاصل شده در این پژوهش کاهش ۴۴ درصدی مصرف انرژی مورد نیاز سرمایش است. البته از دیدگاه اقتصادی بیان شده در حالتی که از وسایل سایه‌انداز با مواد تغییر فاز دهنده استفاده شود، هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بیشتر ارزیابی شده، اگر چه دوره بازگشت سرمایه به میزان سه سال نسبت به حالتی که از مواد تغییر فاز دهنده استفاده نشده، کاهش یافته است. کریمتات و همکاران [14] در یک مقاله مروری به بررسی استفاده از وسایل سایه‌انداز در ساختمان‌ها پرداخته‌اند. بر اساس بررسی آن‌ها کاهش مصرف انرژی از طریق ایجاد تغییرات در معماری و نمای ساختمان امکان‌پذیر است. بر اساس نتایج این مقاله محافظت از پنجره‌ها در تابستان و اجازه استفاده حداکثری پنجره‌ها و محیط داخل در زمستان از پرتو خورشید کمک شایانی به کاهش بار مصرفی خواهد کرد.

مطالعات پیشین اگر چه تحلیلی جامع بر نقش نور طبیعی و

برهم‌کنش آن با پنجره در ساختمان و تأثیر وسایل سایه‌انداز در این بین بر مصرف انرژی ارائه داده‌اند، لیکن خلأ تأثیر یک برنامه زمانی به‌کارگیری از وسایل سایه‌انداز متحرک داخلی در کنار استفاده همزمان با وسایل سایه‌انداز ثابت خارجی و تأثیر عوامل یاد شده بر مصرف انرژی ساختمان احساس می‌شود. بنابراین در این پژوهش به بررسی تأثیر استفاده از وسایل سایه‌انداز داخلی و خارجی در شرایط آب و هوایی شهر کرمان پرداخته شده است. لذا سایه‌بان‌های ثابت خارجی در ۳ عمق مختلف و سایه‌اندازهای متحرک داخلی در ۳ نوع متفاوت در نرم‌افزار شبیه‌ساز، مدل‌سازی شده است. در ادامه، تأثیر انواع مختلف سایه‌انداز بر میزان مصرف انرژی محاسبه شده است و مقایسه‌ای بین تأثیر آن‌ها بر مصرف انرژی صورت گرفته است. همچنین استفاده ترکیبی از هر دو نوع سایه‌انداز و تأثیر کمی آن‌ها بر میزان کاهش مصرف انرژی، مورد ارزیابی قرار گرفته است. مقایسه بین وسایل سایه‌انداز مدل‌شده و تأثیر استفاده همزمان از آن‌ها در کنار یک برنامه زمان‌بندی به‌کارگیری از دیدگاه مصرف انرژی در شرایط اقلیمی شهر کرمان برای یک ساختمان با کاربری اداری از نوآوری‌های پژوهش حاضر است.

شرایط اقلیمی و جغرافیایی شهر کرمان

دشت کرمان [15] در دامنه دو رشته کوه که از شمال شرقی و جنوب غربی آن می‌گذرند، گسترده شده است. ارتفاع این دشت از سطح دریا متغیر و حداکثر ۲۱۰۰ متر در نواحی جنوب شرقی و حداقل ۱۶۵۰ متر در نواحی شمال غرب است. در اقلیم کرمان عواملی مانند ارتفاعات و کویر نقش عمده‌ای در شرایط آب و هوایی شهر دارند و این اقلیم را به شهری خشک تا فراخشک بدل کرده‌اند.

اختلاف شدید درجه حرارت در فصول سرد و گرم و حتی در شب و روز از ویژگی‌های این اقلیم است. میانگین درجه حرارت سالانه این شهر ۱۵ درجه سانتی‌گراد و تحت تأثیر بادهای موسمی و خشک است. طول جغرافیایی این شهر ۵۷/۸°E و عرض آن ۳۰/۲۸°N است.

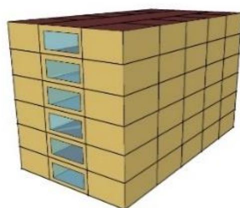
بیان مسئله

در این پژوهش به منظور ارزیابی تأثیر استفاده از وسایل سایه‌انداز بر مصرف انرژی مورد نیاز جهت تأمین شرایط آسایش، یک ساختمان با کاربری اداری در شش طبقه که نمای اصلی آن رو به جنوب است و شامل ۱۷ پنجره در نمای جنوبی می‌باشد، در نرم‌افزار انرژی پلاس [16] شبیه‌سازی شده است. شکل (۱) نمای ساختمان شبیه‌سازی شده را نمایش می‌دهد. این ساختمان اداری که در شرایط اقلیمی شهر کرمان قرار دارد از شنبه تا چهارشنبه از ساعت ۷:۳۰ تا ۱۶:۰۰ فعال است و برای روزهای آخر هفته تعطیل می‌باشد.

محاسبات میزان مصرف انرژی در یک بازه زمانی یک ساله که شامل فصول گرم و سرد سال است انجام شده و فرضیات در نظر گرفته شده برای شبیه‌سازی به قرار زیر است.

۱. دمای طراحی ساختمان ۲۲ درجه سانتی‌گراد برای دمای تنظیم گرمایش و ۲۶ درجه سانتی‌گراد برای دمای تنظیم سرمایش می‌باشد.
۲. با توجه به اینکه تخمین مناسبی از دمای زمین در طول سال در دسترس نمی‌باشد، از دمای ۱۸ درجه سانتی‌گراد به صورت میانگین در طول سال استفاده شده است.
۳. ساختمان در راستای محور جنوب طراحی شده و هیچ گونه زاویه‌ای با این محور ندارد.
۴. الگوریتم محاسبات انتقال حرارت سطوح ساختمان در معادلات انتقال حرارت بر اساس گرمای محسوس لحاظ شده و از رطوبت سطوح و عدم یکپارچگی آن‌ها و مصالح صرف نظر شده است. در مرحله شبیه‌سازی این پژوهش از سه نرم‌افزار اسکچاپ (Sketch up) [17]، اپن استودیو (Open studio) [18] و انرژی پلاس (Energy plus) استفاده شده است.


(الف) نمای جنوبی


(ب) نمای شمالی

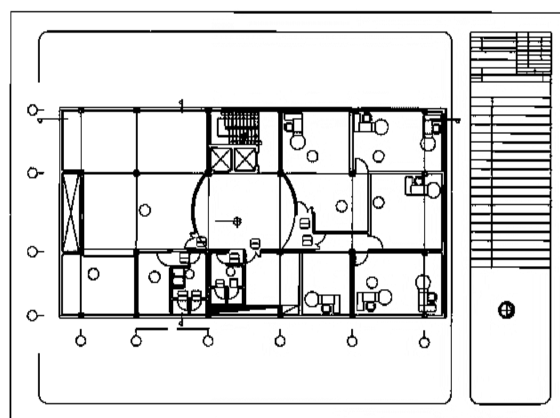
شکل ۱ ساختمان مدل شده در نرم‌افزار اسکچاپ

ترسیم پلان اولیه ساختمان و تبدیل آن به یک مدل سه‌بعدی در نرم‌افزار اسکچاپ، تعریف و تخصیص مصالح مورد استفاده در

نرم‌افزار اپن استودیو و در نهایت محاسبه انرژی مصرفی مورد نیاز برای تأمین آسایش حرارتی با نرم‌افزار انرژی پلاس صورت گرفته است.

ترسیم هندسه ساختمان در نرم‌افزار اسکچاپ

ترسیم هندسه ساختمان، دیوارهای داخلی و خارجی، نما و سقف و بازشوها و جدارهای نورگذر و ایجاد یک مدل سه‌بعدی از ساختمان با استفاده از نرم‌افزار اسکچاپ انجام شده است. پلان اولیه ساختمان مدل شده در نرم‌افزار اسکچاپ در شکل (۲) قابل مشاهده است.



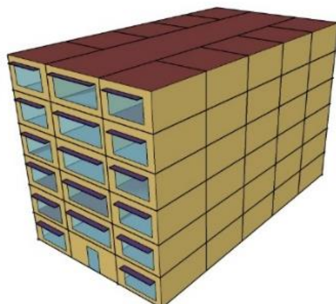
شکل ۲ پلان ساختمان مدل شده در نرم‌افزار اسکچاپ

از جمله مهم‌ترین ویژگی‌های هندسی ساختمان مدل شده در اسکچاپ موارد زیر هستند:

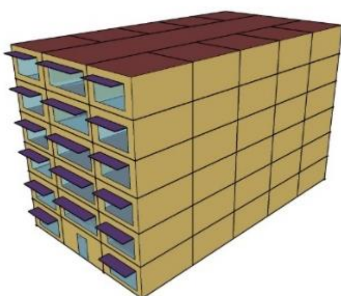
۱. تعداد ۶۶ فضای حرارتی ایجاد شده.
۲. تعداد ۴۴۴ سطح هندسی ایجاد شده.
۳. تعداد ۲۴ سطح زیر مجموعه شامل پنجره و در.

مدل‌سازی سایه‌بان خارج ثابت در نرم‌افزار اسکچاپ

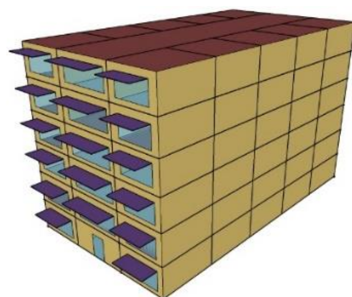
با توجه به اینکه سایه‌بان‌های ثابت خارجی از اجزای هندسی ساختمان هستند، مدل‌سازی آن‌ها در نرم‌افزار اسکچاپ و بر روی ۱۷ پنجره ایجاد شده است. شکل (۳) سایه‌بان‌های ثابت خارجی را در نمای جنوبی ساختمان و در سه عمق ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ سانتی‌متر نشان می‌دهد.



(الف) سایه‌بان ثابت خارجی با عمق ۵۰ cm



(ب) سایه‌بان ثابت خارجی با عمق ۱۰۰ cm



(ج) سایه‌بان ثابت خارجی با عمق ۱۵۰ cm

شکل ۳ سایه‌بان‌های خارجی مدل شده در نرم‌افزار اسکچاپ در سه عمق مختلف

تخصیص مصالح به هندسه ساختمان در نرم‌افزار اپن استودیو

قابلیت‌های موجود در نرم‌افزار اپن استودیو این امکان را ایجاد می‌کند که برای هندسه ایجاد شده در نرم‌افزار اسکچاپ، مصالح مورد نیاز را تعریف کرد و به قسمت‌های مختلف ساختمان اختصاص داد. مصالح ایجاد شده در این نرم‌افزار بر اساس استانداردهای موجود و ویژگی‌های تعریف شده برای آن‌ها بر اساس مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان [19] انتخاب شده است که در جداول (۱) تا (۳) به تفکیک ملاحظه می‌شود.

جدول ۱ مصالح مربوط به سقف ساختمان از خارجی‌ترین لایه به داخلی‌ترین لایه [19]

ردیف	نوع مصالح		ضخامت (m)
	گروه اصلی	زیرگروه	
۱	عایق رطوبتی	ورق پیش ساخته قیر	۰/۰۰۵
۲	اندود و ملات آهکی یا سیمانی	–	۰/۰۲
۳	بتن با سنگدانه بسیار سبک	متشکل از پرلیت یا ورمیکولیت	۰/۰۶
۴	تیرچه و بلوک پلی استایرن منبسط	ارتفاع بلوک ۲۰ سانتی‌متر، عرض پاشنه تیرچه ۱۴ سانتی‌متر، فاصله محورها ۶۴ سانتی‌متر	۰/۲۵
۵	اندود و ملات آهکی یا سیمانی	–	۰/۰۲
۶	گچ	قطعات پیش‌ساخته گچی	۰/۰۱

جدول ۲ مصالح مربوط به کف طبقات از خارجی‌ترین لایه به داخلی‌ترین لایه [19]

ردیف	نوع مصالح		ضخامت (m)
	گروه اصلی	زیرگروه	
۱	بتن و فرآورده‌های بتنی	موزاییک	۰/۰۲
۲	اندود و ملات آهکی یا سیمانی	–	۰/۰۲
۳	عایق رطوبتی	ورق پیش‌ساخته قیر	۰/۰۰۵
۴	بتن با سنگدانه بسیار سبک	متشکل از پرلیت یا ورمیکولیت	۰/۰۶
۵	تیرچه و بلوک پلی استایرن منبسط	ارتفاع بلوک ۲۰ سانتی‌متر، عرض پاشنه تیرچه ۱۴ سانتی‌متر، فاصله محورها ۶۴ سانتی‌متر	۰/۲۵
۶	گچ	قطعات پیش‌ساخته گچی	۰/۰۱

جدول ۳ مصالح مربوط به دیوار نما از خارجی‌ترین لایه به داخلی‌ترین لایه [19]

ردیف	متریال		ضخامت (m)
	گروه اصلی	زیرگروه	
۱	آجر پلاک در نما	آجرنما	۰/۰۳
۲	اندود و ملات آهکی یا سیمانی	–	۰/۰۲
۳	عایق رطوبتی	ورق پیش‌ساخته قیر	۰/۰۰۵
۴	بتن و فرآورده‌های بتنی	بتن هوادار اتوکلاو شده	۰/۰۶
۵	تیرچه و بلوک پلی استایرن منبسط	ارتفاع بلوک ۲۰ سانتی‌متر، عرض پاشنه تیرچه ۱۴ سانتی‌متر، فاصله محورها ۶۴ سانتی‌متر	۰/۲۵
۶	لایه هوای محبوس	سطح افقی ـ جریان حرارت رو به بالا	۰/۰۶
۷	عایق‌های حرارتی معدنی	پشم شیشه	۰/۰۱
۸	گچ	قطعات پیش‌ساخته گچی	۰/۰۱

شبیه‌سازی ساختمان در نرم‌افزار انرژی پلاس

از جمله مراحلی که در این بخش تنظیم و شبیه‌سازی شده است، فایل آب و هوایی شهر کرمان [20] به همراه گرم‌ترین و سردترین روز سال، تعریف برنامه زمان‌بندی ساعت کار سیستم‌های تهویه مطبوع و تأسیسات، تعریف و تنظیم سیستم تأسیساتی و سایه‌اندازهای متحرک داخلی است [21]. لازم به ذکر است که این نرم‌افزار یکی از قدرتمندترین نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی حال حاضر دنیاست که یک شبیه‌سازی جامع انرژی از ساختمان را ایجاد و محاسبه می‌کند.

شبیه‌سازی سایه‌اندازهای داخلی در نرم‌افزار انرژی پلاس

سایه‌اندازهای متحرک داخلی به دلیل اینکه از اجزای هندسی ساختمان به شمار نمی‌روند، در این قسمت شبیه‌سازی می‌شوند. سه نوع سایه‌انداز شبیه‌سازی شده برای استفاده در پنجره‌های نمای جنوبی شامل سه نوع پرده ساده، کرکره، توری [22] هستند، که در شکل (۴) نمونه‌ای از آن‌ها نشان داده شده است. در راستای بهبود عملکرد مصرف انرژی ساختمان، از یک برنامه زمانی برای به کارگیری سایه‌اندازها استفاده شده است. این برنامه به گونه‌ای تعریف شده است که در فصول سرد سال در زمان حضور نور خورشید سایه‌انداز را حذف و در زمان عدم حضور نور خورشید سایه‌انداز را به منظور کاهش اتلاف پنجره‌ها، فعال می‌کند. عکس این شرایط در تابستان اعمال می‌شود.


(الف) پرده


(ب) کرکره


(ج) توری

شکل ۴ سایه‌اندازهای متحرک انتخاب شده

روش تحقیق

محاسبات انجام شده در این پژوهش توسط نرم‌افزار انرژی پلاس انجام می‌شود [23]. این نرم‌افزار یک موتور محاسباتی می‌باشد، لذا کار آن بر پایه تعریف ورودی‌ها بر مبنای متن و عدد و انجام محاسبات و ایجاد خروجی‌های متنی و عددی است. می‌توان معادلات حاکم را بر اساس معادلات محاسباتی توسط هسته نرم‌افزار بیان کرد. در حالت کلی این معادلات شامل محاسبه تأثیر تابش و رسانش و محاسبه برهم‌کنش انتقال حرارت و جرم است. بنابراین، بالانس انرژی ناشی از تابش روی سطوح خارجی ساختمان از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$q''_{\alpha sol} + q''_{LWR} + q''_{conv} - q''_{ko} = 0 \qquad (1)$$

در رابطه (۱) $q''_{\alpha sol}$ شار حرارتی تابش (با طول موج کوتاه) خورشید، q''_{conv} تبادل شار حرارت جابه‌جایی با هوا، q''_{ko} شار حرارت رسانشی به دیوار، q''_{LWR} تبادل خالص شار حرارتی تابش (با طول موج بلند) سطح با هوا و محیط اطراف است که بر اساس قانون استفان بولتزمن از رابطه (۲) قابل محاسبه است:

$$q''_{LWR} = \varepsilon\sigma F_{gnd}\left(T_{gnd}^4 - T_{surf}^4\right) + \varepsilon\sigma F_{sky}\left(T_{sky}^4 - T_{surf}^4\right) + \varepsilon\sigma F_{air}\left(T_{gir}^4 - T_{surf}^4\right) \qquad (2)$$

در رابطه (۲) ε ضریب صدور (با طول موج بلند) سطح، σ ثابت استفان بولتزمن، F_{gnd} ضریب دید دیوار نسبت به زمین، F_{sky} ضریب دید دیوار نسبت به آسمان، F_{air} ضریب دید دیوار نسبت به هوا، T_{surf} دمای سطح خارجی دیوار، T_{gnd} دمای سطح زمین، T_{sky} دمای آسمان و T_{air} دمای هوا می‌باشد.

اعتبارسنجی

به منظور اعتبارسنجی نتایج حاصل از شبیه‌سازی، از پژوهش گوش و نئوگی [24] استفاده شده است که در آن به بررسی اثر طراحی پنجره و پنجره‌بندی و سایه‌اندازی بر مصرف انرژی در ساختمان و ارزیابی عملکرد یک سیستم جدید سایه‌اندازی پرداخته شده است. لذا ورودی‌های مختلف از جمله دماهای برنامه‌ریزی شده، ترموستات ساختمان، مصالح استفاده شده در کف و سقف و دیوارها، سیستم تهویه مطبوع، تعداد افراد حاضر و سایر موارد وارد نرم‌افزار انرژی پلاس گردیده است. درنهایت مصرف انرژی سالیانه ساختمان بر واحد سطح که عبارت است

از یک ساختمان معیار با ابعاد ۵×۵×۳ مترمکعب و یک پنجره به ابعاد ۲×۱ مترمربع، واقع در نمای جنوبی ساختمان که به سایه‌انداز ثابت خارجی به عمق ۰/۵ متر مجهز شده است، برای سه شهر با شرایط آب و هوایی مختلف توسط نرم‌افزار انرژی پلاس محاسبه شده و نتایج حاصل در جدول (۴) مورد مقایسه قرار گرفته است.

جدول ۴ اعتبارسنجی نتایج

انرژی سالیانه محاسبه شده (MJ/m2)	Kolkata (India)	Naples (USA)	Hanoi (Vietnam)
مرجع [24]	۱۰۶۲/۱۷	۷۸۵/۵۸	۸۴۸/۹۷
پژوهش حاضر	۱۰۲۰/۹۸	۸۱۵/۲۵	۸۶۱/۳۹
میزان تغییرات	۴۱/۱۹	۲۹/۶۷	۱۲/۴۲
درصد تغییرات (٪)	۳/۸۷	۳/۶۴	۱/۴۴

همان طور که مشاهده می‌شود، نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نتایج موجود در مرجع [24] اختلاف قابل قبولی دارند که می‌تواند ناشی از اختلاف بین فایل‌های آب و هوایی و اطلاعات کتابخانه‌ای مورد استفاده در دو پژوهش باشد.

نتایج و بحث

نتایج به دست آمده در سه بخش ارائه شده است:

۱. نتایج حاصل از تأثیر سایه‌اندازهای ثابت خارجی.

۲. نتایج حاصل از تأثیر وسایل سایه‌انداز داخلی متحرک.

۳. نتایج حاصل از تأثیر وسایل سایه‌انداز ثابت خارجی و سایه‌اندازهای متحرک داخلی به صورت همزمان.

لازم به ذکر است که میزان مصرف انرژی برای ساختمان اداری در حالت پایه یعنی شرایطی که از هیچ یک از سایه‌اندازهای داخلی و خارجی استفاده نشده است، برابر با ۲۶۱/۱۴ GJ در شرایط اقلیمی شهر کرمان می‌باشد که از این میزان ۱۰۴/۱۰ GJ آن سهم بار گرمایش و ۱۵۷/۰۴ GJ آن سهم بار سرمایش است.

نتایج مدل‌سازی انرژی ساختمان در حضور سایه‌اندازهای ثابت خارجی

نتایج مدل‌سازی این بخش که حاصل مدل‌سازی ساختمان اداری در شرایط آب و هوایی شهر کرمان است، در حضور سایه‌اندازهای ثابت خارجی در سه عمق ۵۰ سانتی‌متر، ۱۰۰ سانتی‌متر و ۱۵۰ سانتی‌متر، در جدول (۵) قابل مشاهده است.

بر این اساس، بیشترین میزان کاهش مصرف انرژی را ساختمان مجهز به سایه‌انداز ثابت خارجی با عمق ۱۵۰ سانتی‌متر به ثبت رسانده است. نتایج این بخش با پژوهشی [25] که در اقلیم مدیترانه‌ای کشور ایتالیا صورت گرفته است مشابه است، به طوری که در هر دو مطالعه با افزایش عمق سایه‌انداز ثابت خارجی توانایی آن برای کاهش بار سرمایشی افزایش یافته است و سایه‌انداز با عمق بیشتر تأثیر بیشتری در کاهش سالانه مصرف انرژی دارد.

جدول ۵ میزان مصرف انرژی سالیانه در شرایط حضور سایه‌بان‌های ثابت خارجی

عمق سایه‌بان (cm)	مصرف انرژی سالیانه (GJ)	کاهش مصرف انرژی (GJ)	درصد کاهش مصرف انرژی (٪)
۵۰	۲۲۶/۱۰	۳۵/۰۴	۱۳/۴۲
۱۰۰	۲۱۲/۵۳	۴۸/۶۱	۱۸/۶۱
۱۵۰	۲۱۱/۷۳	۴۹/۴۱	۱۸/۹۲

نتایج شبیه‌سازی سایه‌بان ثابت خارجی در سه عمق عملکرد مثبتی را از لحاظ کاهش مصرف انرژی نشان می‌دهد. با افزایش عمق سایه‌بان به دلیل پوشش‌دهی بیشتر زوایای ارتفاع خورشیدی و به طبع افزایش مدت زمان سایه‌اندازی عملکرد آن در راستای کاهش مصرف بار سرمایشی بیشتر می‌شود. لازم به ذکر است سایه‌بان مدل‌شده در این بخش سایه‌بان افقی است لذا توانایی سایه‌اندازی به‌طور پیوسته در طول روز ندارد و در بعضی زوایا و ساعات نزدیک به طلوع و غروب خورشید متناسب با عمق سایه‌بان این امکان وجود ندارد. با نگاهی مقایسه‌ای به پژوهش تجربی [26] صورت گرفته در زمینه استفاده از وسایل سایه‌انداز خارجی بر مصرف انرژی یک ساختمان ورزشی که کاهش ۳۹ درصدی از میزان انرژی ورودی از جدارهای نور گذر به ساختمان را در فصل تابستان نشان داده، می‌توان دریافت که نتایج حاصل شده در این بخش با نتایج تجربی هم‌راستا و هم‌جهت است.

نتایج مدل‌سازی انرژی ساختمان در حضور سایه‌اندازهای متحرک داخلی

سایه‌اندازهای متحرک داخلی شامل سه نوع پرده ساده، پرده کرکره و پرده توری می‌باشند و پوشش دهنده قاب پنجره هستند. در این بخش نتایج حاصل از مدل‌سازی انرژی ساختمان تجهیز شده به سه نوع مختلف سایه‌انداز داخلی، مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج در جدول (۶) نمایش داده شده است.

جدول ۶ میزان مصرف انرژی سالیانه در شرایط حضور سایه‌اندازهای داخلی

نوع سایه‌انداز داخلی	مصرف انرژی سالیانه (GJ)	کاهش مصرف انرژی (GJ)	درصد کاهش مصرف انرژی (٪)
پرده ساده	۲۲۶/۲۰	۳۴/۹۴	۱۳/۳۷
پرده کرکره	۲۳۶/۲۸	۲۴/۸۶	۹/۵۱
پرده توری	۲۳۱/۷۸	۲۹/۳۶	۱۱/۲۴

از جدول (۶) می‌توان دریافت که بیشترین کاهش در میزان مصرف انرژی سالیانه را سایه‌انداز داخلی پرده ساده در شرایط اقلیمی کرمان به خود اختصاص داده است که بخشی از این عملکرد به دلیل توانایی این پرده در فیلتر کردن مناسب نور خورشید در فصل گرم نسبت به دو پرده دیگری و بخشی دیگر به دلیل جلوگیری از تبادل حرارت هوای محیط داخل با پنجره‌ها در فصل سرد است. اگر چه سایه‌اندازهای متحرک داخلی تأثیر مطلوبی در کاهش مصرف انرژی دارند اما در مقایسه با سایه‌اندازهای ثابت خارجی تأثیر کمتری دارند. در پژوهشی دیگر [9] نیز که به مقایسه سایه‌اندازهای داخلی و خارجی پرداخته شده است نتایج مشابهی حاصل شده است و عملکرد سایه‌اندازهای خارجی بهتر از سایه‌اندازهای داخلی ارزیابی شده است. سایه‌اندازهای ثابت خارجی به دلیل توانایی در جلوگیری از تابش مستقیم خورشید قبل از پنجره و عدم تبادل حرارت با آن عملکرد بهتری در فصول گرم سال دارند. سایه‌اندازهای متحرک داخلی اجازه برخورد تابش مستقیم خورشید با پنجره و تبادل حرارت پنجره با محیط پیرامون آن را می‌دهند و به طبع تأثیر کمتری در کاهش دما و انرژی مصرفی ساختمان دارند.

نتایج مدل‌سازی انرژی ساختمان در استفاده همزمان از سایه‌انداز ثابت خارجی و سایه‌اندازهای متحرک داخلی

در راستای ارزیابی میزان صرفه‌جویی ناشی از استفاده از وسایل سایه‌انداز به صورت ترکیبی، سایه‌اندازهای داخلی و خارجی به صورت همزمان برای ساختمان در ۹ حالت مجزا شبیه‌سازی و بر اساس عمق سایه‌بان خارجی طبقه‌بندی شده است. ترکیب آن‌ها به منظور بهبود و پوشش نقاط ضعف یکدیگر و افزایش تأثیرگذاری بر عملکرد انرژی ساختمان انجام شد. نتایج شبیه‌سازی برای ساختمان مجهز به سایه‌انداز ثابت خارجی با عمق ۵۰ سانتی‌متر و سایه‌اندازهای داخلی در جدول (۷) مشاهده می‌شود.

استفاده از سایه‌انداز ثابت خارجی با عمق ۵۰ سانتی‌متر در ترکیب با سایه‌اندازهای متحرک داخلی کارایی آن‌ها را از دیدگاه مصرف انرژی افزایش داده است. در حالی که استفاده منفرد از پرده ساده بهترین عملکرد را نسبت به سایر سایه‌اندازهای متحرک داخلی دارد، استفاده ترکیبی از آن با سایه‌انداز ثابت خارجی به عمق ۵۰ سانتی‌متر نسبت به سایر سایه‌اندازهای متحرک داخلی کارایی بهتری را نشان می‌دهد. بر این اساس سایه‌انداز ثابت خارجی با عمق ۵۰ سانتی‌متر و پرده ساده مصرف انرژی سالیانه را ۲۱/۱۴ درصد کاهش داده است که معادل ۵۵/۲۰ گیگا ژول در سال است. نتایج حاصل از ترکیب سایه‌انداز خارجی با عمق ۱۰۰ سانتی‌متر و سه نوع سایه‌اندازهای متحرک داخلی در جدول (۸) نمایش داده شده است.

شایان ذکر است که همانند بخش قبل ساختمان تجهیز شده با سایه‌انداز خارجی با عمق ۱۰۰ سانتی‌متر وپرده ساده کمترین میزان انرژی مصرفی در شرایط یکسان شبیه‌سازی برای این بخش را به ثبت رسانده‌اند. میزان مصرف انرژی سالیانه حاصل از به‌کارگیری سایه‌انداز خارجی با عمق ۱۵۰ سانتی‌متر و سایه‌اندازهای متحرک داخلی در جدول (۹) ارائه شده است.

جدول ۷ میزان مصرف انرژی سالیانه در شرایط حضور سایه‌بان ثابت خارجی با عمق ۵۰ سانتی‌متر در ترکیب با سایه‌اندازهای داخلی متحرک

نوع سایه‌انداز ترکیبی با سایه‌انداز خارجی با عمق ۵۰ cm	مصرف انرژی سالیانه (GJ)	کاهش مصرف انرژی (GJ)	درصد کاهش مصرف انرژی (٪)
پرده ساده	۲۰۵/۹۴	۵۵/۲۰	۲۱/۱۴
پرده کرکره	۲۱۵/۲۰	۴۵/۹۴	۱۷/۵۹
پرده توری	۲۰۹/۶۹	۵۱/۴۵	۱۹/۷۰

جدول ۸ میزان مصرف انرژی سالیانه در شرایط حضور سایه‌بان ثابت خارجی با عمق ۱۰۰ سانتی‌متر در ترکیب با سایه‌اندازهای داخلی متحرک

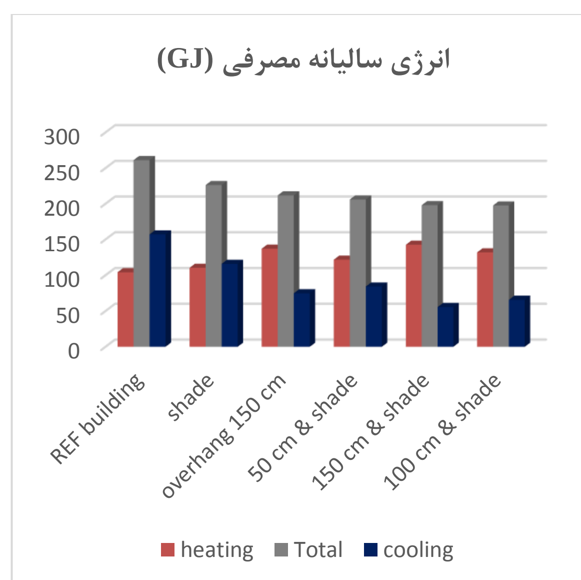
نوع سایه‌انداز ترکیبی با سایه‌انداز خارجی با عمق ۱۰۰ cm	مصرف انرژی سالیانه (GJ)	کاهش مصرف انرژی (GJ)	درصد کاهش مصرف انرژی (٪)
پرده ساده	۱۹۷/۵۷	۶۳/۵۷	۲۴/۳۴
پرده کرکره	۲۰۶/۲۲	۵۴/۹۲	۲۱/۰۳
پرده توری	۱۹۹/۵۴	۶۱/۶۰	۲۳/۵۹

جدول ۹ میزان مصرف انرژی سالیانه در شرایط حضور سایه‌بان ثابت خارجی با عمق ۱۵۰ سانتی‌متر در ترکیب با انواع سایه‌اندازهای داخلی متحرک

نوع سایه‌انداز ترکیبی با سایه‌انداز خارجی با عمق cm۱۵۰	مصرف انرژی سالیانه (GJ)	کاهش مصرف انرژی (GJ)	درصد کاهش مصرف انرژی (٪)
پرده ساده	۱۹۸/۰۵	۶۳/۰۹	۲۴/۱۶
پرده کرکره	۲۰۶/۸۲	۵۴/۳۲	۲۰/۸۰
پرده توری	۱۹۹/۲۷	۶۱/۸۷	۲۳/۶۹

بر اساس نتایج، بیشترین میزان کاهش مصرف انرژی مربوط به سایه‌اندازهای ترکیبی ثابت خارجی با عمق ۱۵۰ سانتی‌متر و سایه‌انداز متحرک پرده ساده است. نتایج نشان داد که استفاده ترکیبی از وسایل سایه‌انداز باعث بهبود عملکرد آن‌ها و افزایش توانایی آن‌ها در کاهش مصرف انرژی می‌شود. تجهیز ساختمان با استفاده از آن‌ها تأثیر به‌سزایی در کاهش بار سرمایشی ساختمان دارد اما متأسفانه نمی‌توان تأثیر مخرب آن‌ها بر بار گرمایشی را نادیده گرفت. در این راستا وسایل سایه‌اندازی که در هر جدول بهترین عملکرد را از دیدگاه مصرف انرژی دارند، از دیدگاه سرمایش و گرمایش در شکل (۵) مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

مشاهده می‌شود که با افزایش عملکرد وسایل سایه‌انداز در کاهش بار سرمایشی ساختمان، اثر مخرب آن‌ها بر بار گرمایشی نیز افزایش می‌یابد. اما تأثیر آن‌ها بر کاهش بار سرمایشی بیشتر از تأثیر آن‌ها بر افزایش بار گرمایشی است. از این رو، کارایی آن‌ها قابل قبول ارزیابی می‌شود. حفاظت از پنجره‌ها در فصل گرما به



شکل ۵ مقایسه نموداری میزان مصرف سالیانه‌ی انرژی به تفکیک سرمایش و گرمایش برای ساختمان مجهز به وسایل سایه‌انداز

کاهش بار سرمایشی کمک می‌کند، در حالی که حداکثر استفاده پنجره‌ها از تابش پرتو خورشیدی به کاهش بار گرمایشی کمک می‌کند. بنابراین با استفاده از وسایل سایه‌انداز در تابستان و حذف آن‌ها در زمستان، می‌توان عملکرد آن‌ها را به میزان قابل توجهی ارتقا بخشید و کارایی آن‌ها را از دیدگاه انرژی و صرفه‌جویی در مصرف آن افزایش داد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر به‌کارگیری سایه‌اندازهای خارجی و داخلی در یک ساختمان اداری نمونه در شهر کرمان، با استفاده از نرم‌افزار انرژی‌پلاس مورد مطالعه قرار گرفته است. در حالت کلی استفاده از وسایل سایه‌انداز در فصول گرم به دلیل کنترل و مهار تابش مستقیم خورشید مثبت ارزیابی می‌شود و تأثیر قابل توجهی در کاهش مصرف انرژی مورد نیاز در بخش سرمایش دارد. این میزان از کاهش با در نظر گرفتن شرایط وسیله مورد استفاده برای سایه‌زنی، مکان قرارگیری و چگونگی توانایی وسیله سایه‌انداز در کنترل و فیلتر کردن نور خورشید متفاوت است.

سایه‌اندازهای ثابت خارجی در مقایسه با سایه‌اندازهای متحرک داخلی به دلیل کنترل و جلوگیری از تابش مستقیم خورشید به پنجره مانع از افزایش دمای پنجره و تبادل حرارت با محیط پیرامون پنجره می‌شوند و کارایی بهتری از جهت کاهش مصرف انرژی و بار سرمایشی دارند. هر چه که عمق سایه‌انداز ثابت خارجی بیشتر باشد، به دلیل افزایش توانایی در جلوگیری از تابش مستقیم نور خورشید و پوشش‌دهی بیشتر زوایای ارتفاع خورشیدی و افزایش مدت زمان سایه‌اندازی، میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی نیز بیشتر است. به عنوان مثال برای سایه‌بان با عمق ۱۵۰ سانتی‌متر، کاهش مصرف به میزان ۴۹/۴۱ گیگاژول محاسبه شده است که کاهشی در حدود ۱۸/۹۲٪ را نشان می‌دهد و بهترین کارایی را در بخش استفاده منفرد از وسایل سایه‌انداز نشان می‌دهد.

استفاده از وسایل سایه‌انداز در فصول سرد سال به دلیل جلوگیری از تابش مستقیم نور خورشید به عنوان عاملی مزاحم در جهت کاهش مصرف انرژی ارزیابی می‌شود.

در شرایط استفاده همزمان از سایه‌اندازهای ثابت خارجی و سایه‌اندازهای متحرک داخلی، ۹ حالت مختلف مورد بررسی قرار گرفت که در این میان، بیشترین میزان کاهش مصرف انرژی در استفاده همزمان از سایه‌بان ثابت خارجی با عمق ۱۰۰ سانتی‌متر و سایه‌انداز متحرک داخلی از نوع پرده ساده است. این کاهش مصرف انرژی به میزان ۶۳/۵۷ گیگاژول در سال است که سهمی معادل ۲۴/۳۴ ٪ در کاهش مصرف انرژی نسبت به ساختمان پایه را نشان می‌دهد.

در شرایط آب و هوایی کرمان با توجه به اینکه غالب انرژی ساختمان در جهت تأمین بار سرمایشی مصرف می‌شود و همچنین نسبت کاهش بار سرمایشی در مقایسه با افزایش بار گرمایشی با استفاده از وسایل سایه‌انداز بیشتر است، به‌کارگیری وسایل سایه‌انداز مثبت ارزیابی می‌شود و بر اساس نتایج این کار پژوهشی تأثیر مناسبی در کاهش مصرف سالانه انرژی ساختمان دارند.

فهرست علائم

F_i: ضریب دید

q'': نرخ انتقال حرارت بر واحد سطح (W/m^2)

T: دما (^oC)

نمادهای یونانی

ε: ضریب صدور تابش

σ: ثابت استیفان بولتزمن

زیرنویس‌ها

هوا	air
تابش (طول موج کوتاه) خورشید	asol
انتقال حرارت جابه‌جایی	conv
زمین	gnd
انتقال حرارت رسانشی	k
تابش با طول موج بلند	LWR
خارجی	o
آسمان	sky
سطح	surf

واژه‌نامه

دیزاین بیلدر	Design Builder
دو فلزی	Bimetal

اسکچاپ	Sketch up
اپن استودیو	Open studio
انرژی پلاس	Energy plus

تقدیر و تشکر

مراجع

[1] F. Amini, M. A. Shafizadeh, L. S. Fatahi, M. Tuanpour, P. Suleimanpour, M. Farmad, N. Gol Garhamani, M. Khodi, Energy balance sheet for 2019 Deputy of Electricity and Energy Affairs, Electricity and Energy Master Planning Office, Tehran, Ministry of Energy, 2022. (In Persian)

[2] A. Yari nezhad, A. Mahravan, "Investigating the effect of optimizing external skins and translucent walls on reducing energy consumption and investment return time of educational buildings in a temperate climate with dry and very hot summers," *Journal of Applied and Computational Sciences in Mechanics*, vol. 36, no. 1, pp. 41-60, 2023. (In Persian) https://doi.org/10.22067/jacsm.2023.81531.1175.

[3] A. Amiri, A. Yarinezhad, "Investigating the Effect of Phase Change Materials on Energy Consumption in Lightweight Prefabricated Relief Buildings," *Journal of Applied and Computational Sciences in Mechanics*, vol. 34, no. 4, pp. 35-52, 2023. (In Persian) https://doi.org/10.22067/jacsm.2022.78503.1136.

[4] The Islamic republic News Agency, Available: https://irna.ir/xjbKR , [Accessed Fall 2022]. (In Persian)

[5] M. S. Shahdan, S. S. Ahmad, M. A. Hussin, "External shading devices for energy efficient building," Series, *Earth and Environmental Science*, vol. 118, p. 012034, 2018. 10.1088/1755-1315/117/1/012034.

[6] I .Shah, B. Soh, C. Lim, S. Lau, A. Ghahramani, "Thermal transfer and temperature reductions from shading systems on opaque facades: Quantifying the impacts of influential factors," *Energy Build*, vol. 278, p. 112604, 2023. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112604.

[7] W. Alhuwayil, M. Mujeebu, A. Algarny, "Impact of External Shading Strategy on Energy Performance of Multi-Story Hotel Building in Hot humid Climate", *Energy*, vol. 169, pp. 1166 -1174, 2019. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.069.

[8] Z. Li, S. Zhang, J. Chang, F. Zhao, Y. Zhao, J. Gao, "Simulation study on light environment performance and heat gain of applying a bimetal automatic shading device to rooms," *Energy and Buildings*, vol. 211, p. 109820, 2020. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109820.

[9] G. Evolaa, F. Gullob, L. Marlettaa, "The role of shading devices to improve thermal and visual comfort in existing glazed buildings," *Energy Procedia*, vol. 134, pp. 346–355, 2017. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.543.

[10] M. Marefat, A. Karimdoost-Yasuri, "Parametric Study on Illumination Performance of Skylights for Daylighting Enhancement," *Journal of Applied and Computational Sciences in Mechanics*, vol. 21, no. 1, pp. 15-32, 2009. (In Persian) https://doi.org/10.22067/fum-mech.v21i1.7704.

[11] C. Buratti, E. Belloni, F. Merli, M. Mastoori, S. Sharifi, G. Pignatta, "Evaluating the Impact of Shading Devices, Glazing Systems, and Building Orientation on the Energy Consumption in Educational Spaces," *Environmental and Earth Sciences Proceedings*, vol. 12, no. 1, pp. 22, 2021. https://doi.org/10.3390/environsciproc2021012022.

[12] A. Arabsolghar, N. Heidari, M. Shafiey dehaj, A. Iranmanesh, "Investigation of Down-Draught Effect on The

Thermal Comfort Indexes in The Building With Glazing Envelope," *Journal of Applied and Computational Sciences in Mechanics*, vol. 33, no. 1, pp. 35- 52, 2021. (In Persian) https://doi.org/10.22067/jacsm.2021.70588.1030.

[13] J. Park, B. Yun, S. Chang, S. Wi, J. Jeon, S. Kim, "Impact of a passive retrofit shading system on educational building to improve thermal comfort and energy consumption," *Energy Build*, vol. 216, p. 109930, 2020. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109930.

[14] A. Kirimtat, B. Koyunbaba, I. Chatzikonstantinou, S. Sariyildiz, "Review of simulation modeling for shading devices in buildings," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 53, pp. 23-49, 2016. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.020.

[15] Wikipedia, the free encyclopedia, Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Kerman, [Accessed Spring 2023].

[16] Energy Plus energy simulation software Version 9.2.0 U.S. Department of Energy.

[17] Sketch Up pro 2017 simulation software Version 17.1.174 64-bit, 2017.

[18] Open Studio simulation software Version 2.9.1 U.S. National Renewable Energy Laboratory.

[19] Iran's national building regulations, energy saving, topic 19, Road and Urban Development Research Center of the Ministry of Roads and Urban Development, Fourth edition, 2019. (In Persian)

[20] L. L. K. Drury, B. Crawley, Development of Global Typical Meteorological Years (TMYx). 2022. [Online]. Available: http://climate.onebuilding.org.

[21] Energy plus input output reference U.S. Department of energy September 27, 2019.

[22] Energy Plus Reference Data Set for Window, Blinds, Shade, Screen materials, Version 9.2.0 U.S. Department of Energy.

[23] Energy plus engineering reference U.S. Department of energy September 27, 2019.

[24] A. Ghosh, S. Neogi, "Effect of fenestration geometrical factors on building energy consumption and performance evaluation of a new external solar shading device in warm and humid climatic condition," *Solar Energy*, vol. 169, pp. 94-104, 2018. https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.04.025.

[25] L. Bellia, F. De Falco, F. Minichiello, "Effects of solar shading devices on energy requirements of standalone office buildings for Italian climates," *Applied Thermal Engineering*, vol. 54, no. 1, pp. 190-201, 2013. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.01.039.

[26] L. Evangelisti, C. Guattari, F. Asdrubali, R. D. L. Vollaro, "An experimental investigation of the thermal performance of a building solar shading device," *Journal of Building Engineering*, vol. 28, p. 101089, 2020. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.101089.